

Я. Мокхоф, Х. Веткамп и др.] // Металлургическое производство и технология металлургических процессов. – 1995. – С. 22 – 27. 7. Рыщенко А.С. Шамотные, муллитовые и муллитокорундовые стопорные трубки // Современные технологии тугоплавких неметаллических материалов: I Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, (Харьков, 23 – 24 марта 2009 г.) / НТУ «ХПИ»: тезисы докладов. – Х., 2009. – С. 34. 8. Рыщенко А.С. Оптимизация составов масс муллитокорундовых стопорных трубок с использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента / А.С. Рыщенко // III Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по химии и химической технологии, (Киев, 21 – 23 апреля 2010 г.) / НТУУ «КПИ»: тезисы докладов. – К., 2010. – С. 171. 9. ГОСТ 2409-95 Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. – Взамен ГОСТ 2409-80; Введ. 01.01.95. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 10. Ахназарова С.Л. Методы оптимизация эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 328 с.

Поступила в редколлегию 29.03.10

УДК: 681.5

**В.И. ТОШИНСКИЙ**, докт. техн. наук, проф,  
**О.В. ПУГАНОВСКИЙ**, ст. преп., НТУ «ХПИ», м. Харків,  
**Ю.А. БАБІЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НФАУ, м. Харків,  
**І.Л. КРАСНІКОВ**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», м. Харків

## **КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

У наш час питанням економії і раціонального використання природного газу приділяється особлива увага. В статті представлені результати роботи по створенню комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю спалювання природного газу в пічних агрегатах хлібопекарної промисловості. Запропонована система автоматизації орієнтована на використання приладів, що серійно виробляються в Україні.

In our time the question of economy and rational use of natural gas is spare the special attention. In the articles presented job performances are on creation of computer-integrated control the system by quality incineration of natural gas in the stove aggregates of bakery industry. The system of automation is offered oriented to the use of devices which are serially made in Ukraine.

**Постановка проблеми.** Більшість українських підприємств харчової промисловості характеризуються значним споживанням природного газу у пічних і котельних агрегатах. Питання економії і раціонального використан-

ня газу особливо загострюються у зв'язку із безперервним зростанням його вартості, що обумовлює зниження енергоефективності виробництва. Класичний підхід до регулювання температури у технологічних системах спалювання природного газу не дає можливості здійснювати контроль і регулювати якість спалювання газу. Попередньо встановлений, теоретичний коефіцієнт надлишку повітря на практиці призводить до невиправдано великих втрат такого цінного палива.

На перший погляд, спалювання газу дуже простий процес. Та в промислових умовах параметри цього процесу можуть змінюватись у дуже широких межах для одних і тих же установок. Більше того, параметри якості спалювання можуть змінюватись у залежності від характеристик і якості природного газу та метеорологічних умов (температури атмосферного повітря).

Попередні обстеження на багатьох підприємствах хлібопекарної промисловості, показали відсутність систем контролю якості спалювання природного газу. В основному на цих підприємствах використовуються системи позиційного регулювання температури, що також збільшує невиправдані втрати газу. Одноразові настроювання пічних агрегатів за допомогою переносних газоаналізаторів на практиці не дають значного покращення якості спалювання.

Контролю за процесом спалювання присвячена велика кількість робіт, у яких, зокрема в [1, 2], розглянуто різні алгоритми визначення ефективності спалювання палива. При цьому найбільш економічним є алгоритм, заснований на аналізі складу продуктів горіння на основі кисневої формули, що дозволяє оцінити як ступінь згоряння палива (втрати тепла з хімічною неповнотою горіння), так і умови згорання (коефіцієнт надлишку повітря, що визначає втрати тепла з викидними димовими газами).

**Результати досліджень і розробок.** Дослідження проводились на одному з хлібопекарних підприємств м. Харків, об'єктом досліджень була піч ХПА-40. Регулятор температури – позиційний. Підвищення температури проводиться за рахунок режиму «великого» горіння, після чого регулятор переводить систему у режим «малого» горіння і температура поступово знижується. Для вимірювань були використані газоаналізатори ГТМК-18 (діапазон 0 – 20 об. %  $O_2$ ) і «Рутіл-4М» (діапазон 0 – 0,6 об. %  $CO$ ). Прилади попередньо були атестовані Харківським центром стандартизації і метрології.

В процесі дослідження для оцінки значення коефіцієнта надлишку повітря по газовому аналізу використовувалася киснева формула [2], у вигляді:

$$a = \frac{[79/(1 - 0,04 \cdot O_2)] + 21 - RO_2^{\max}}{100 - RO_2^{\max}} \quad (1)$$

де  $RO_2^{\max}$  – максимальна частка  $O_2$  в сухих продуктах повного згоряння природного газу, об. %;  $O_2$  – об’ємна частка кисню в сухих продуктах згоряння об. %.

Оскільки при спалюванні газу навіть з коефіцієнтом надлишку повітря менше критичного ( $\alpha_{\text{крит.}}$ ) вміст вільного кисню в продуктах згоряння не дорівнює нулю, то в процесі контролю режиму горіння здійснювалося вимірювання вмісту оксиду вуглецю в продуктах згорання.

Основними рівняннями при розрахунках, окрім рівняння (1), були наступні.

Характеристика палива:

$$b = \frac{21}{RO_2^{\max}} - 1 \quad (2)$$

Точна вуглекислотна формула для умов повного згоряння:

$$RO_2 = \frac{79}{(79/RO_2^{\max} + b) \cdot a - b} \quad (3)$$

Загальне рівняння реакції неповного згорання вуглеводнів:

$$\begin{aligned} C_n H_{2n+2} + [(1,5n + 0,5)a]O_2 + \frac{79}{21}[(1,5n + 0,5)a]N_2 = \\ = xCO_2 + yCO + (n+1)H_2O + [(1,5n + 0,5)(a-1) + 0,5]O_2 + \\ + \frac{79}{21}[(1,5n + 0,5)a]N_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Балансове рівняння неповного згорання:

$$(1 + b)CO_2 + (0,605 + b)CO + O_2 = 21\% \quad (5)$$

Балансове рівняння вуглецю:

$$x + y = n \quad (6)$$

У таблиці наведені усереднені показники роботи печі до впровадження системи контролю і після часткового настроювання якості спалювання газу з її використанням.

Таблиця

Усереднені показники роботи хлібопекарної печі

| Режим горіння   | Витрата газу, м³/г | Середня температура випічки, °С | Тиск, кПа       |         | Розрідження, Па | Вміст у продуктах горіння, % об |       |                 | Коефіцієнт надлишку повітря | Втрати тепла від неповного згорання | Втрати тепла з димовими газами |  |
|---|--------------------|---------------------------------|-----------------|---------|-----------------|---------------------------------|-------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
|   |                    |                                 | Природного газу | Повітря |                 | O <sub>2</sub>                  | CO    | CO <sub>2</sub> |                             |                                     |                                |  |
| Значення показників до уведення системи контролю                          |                    |                                 |                 |         |                 |                                 |       |                 |                             |                                     |                                |  |
| Мале  | 24,72              | 207                             | 4,3             | 0,7     | 8               | 13,0                            | 0,276 | 4,2             | 2,42                        | 2,1                                 | 15,3                           |  |
| Велике  | 58,8               | 208                             | 0,85            | 0,6     | 6               | 8,5                             | 0,38  | 6,7             | 1,6                         | 1,8                                 | 13,7                           |  |
| Значення показників після часткового настроювання системи спалювання газу |                    |                                 |                 |         |                 |                                 |       |                 |                             |                                     |                                |  |
| Мале  | 22,8               | 207                             | 1,08            | 0,88    | 8               | 12,28                           | 0,206 | 4,72            | 2,25                        | 1,46                                | 14,8                           |  |
| Велике  | 50,4               | 207                             | 0,65            | 0,75    | 4               | 7,8                             | 0,275 | 7,1             | 1,52                        | 1,3                                 | 13,2                           |  |

Порівняльний аналіз показав, що коефіцієнт надлишку повітря вдалось знизити на 15 %, що забезпечило втрати тепла більше 1 %.

Це дало можливість знизити витрати газу на 12 % при збереженні нормативної температури випічки. Отримані результати дали підґрунтя для комплексної розробки автоматизованої системи керування таких досить складних технологічних систем у цілому, із застосуванням мікропроцесорних регуляторів.

Аналіз технологічного процесу хлібопекарного агрегату дозволив спроектувати комп'ютерно-інтегровану систему управління, яка представлена на рисунку.

Основне завдання запропонованої системи полягає у підтриманні температурного режиму у печі із забезпеченням максимальної якості процесу спалювання.

Останнє забезпечується регулюванням співвідношення «газ-повітря» з коефіцієнтом надлишку повітря, що обчислюється за вищенаведеними формулами. При цьому, вхідними параметрами крім температури в печі є концентрації кисню, двооксиду вуглецю і продуктів хімічного спалювання. Так як запропо-

нована система впливає на склад димових газів, то в ній передбачено канал впливу на контур керування розрідженням в димоході.

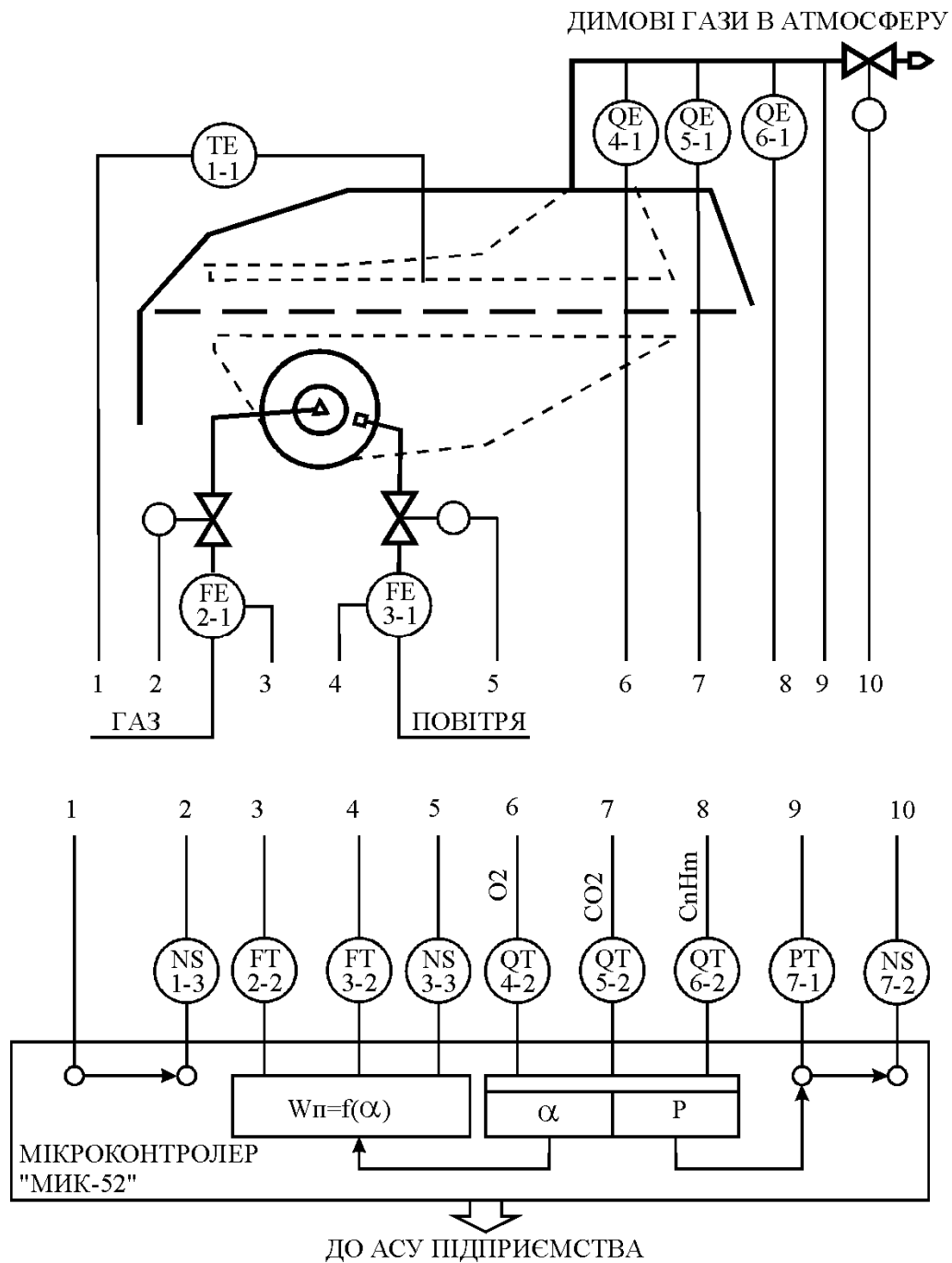


Рисунок – Функціональна схема АСУ з регулюванням якості спалювання газу

Розроблена система побудована повністю на приладах Українського виробництва.

Для вимірювання концентрацій зазначених газів використовується багатоканальний газоаналізатор «Дозор-С», харківського підприємства «Оріон». В центральній частині використано мікропроцесорні регулятори «МИК-52», підприємства «Мікрол». Регулятори дозволяють обчислювати регулюючий вплив як за вбудованим ПІД законом, так і за законом, що задається оператором. Програмно алгоритм роботи складається з двох частин.

Перша відповідає за визначення коефіцієнту надлишку повітря.

Друга відстежує загазованість – концентрацію продуктів хімічного допалу у димових газах.

При підвищенні загазованості вноситься корекція у ступінь відкриття шибєрної заслінки димоходу.

Настроювання регулятора здійснюється за допомогою ПЕОМ і редактора FBD – програм «Альфа».

Використання мікропроцесорних засобів робить доцільним включення їх до комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом в цілому. SCADA-система «VisualIntellect», що поставляється сумісно із мікропроцесорними регуляторами, дозволяє оперативно змінювати коефіцієнти розрахункових формул чи самі розрахунки у залежності від якості природного газу. Також на систему можна покласти оперативний перехід пічних агрегатів з одного режиму на інший, при зміні хлібних виробів та інші технологічні і економічні показники.

### **Висновки.**

Низький рівень контролю якісних показників процесу спалювання природного газу на підприємствах харчової промисловості робить необхідним застосування сучасних методів автоматизації.

Методи розрахунку якості спалювання, що існують, мають високу точність і можуть бути застосовані при проектуванні таких систем.

Прилади, що серійно випускаються українськими підприємствами, можуть бути з успіхом застосовані при побудові систем керування якістю.

Поступовий перехід на SCADA системи дозволяє інтегрувати в них представлену систему керування якістю з подальшою оптимізацією виробництва по економічним, екологічним чи якісним показникам.

**Список літератури:** 1. Пеккер Я.Л. Технологические расчеты по приведенным характеристикам топлива / Я.Л. Пеккер. – М.: Энергия, 1977. – 256 с. 2. Данилин Е.А. Контроль сжигания в промышленных котельных установках / Е.А. Данилин, В.Н. Клочков. – К.: Техника, 1988. – 167 с.